



风力发电

王承煦 张源 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn



风 力 发 电

王承煦 张源 主编

电力科技专著出版资金资助项目

201



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是我国第一本系统介绍国内外风力发电技术的专著，书中全面介绍了中国的风能资源及开发状况，风力发电的发展史，风力发电设备的基本原理及特点，风力发电系统的结构及运行方式，风力发电场的规划、建造及管理。本书文字简练通顺，内容系统翔实，图文并茂，实用且具有指导性。本书可供从事风力发电科研、开发及应用方面的工程技术人员阅读参考，也可作为大专院校教学及在职工程技术人员继续教育的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

风力发电/王承煦，张源主编. —北京：中国电力出版社，
2002.8

ISBN 7-5083-1225-2

I. 风… II. ①王…②张… III. 风力发电 IV. TM614

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 067808 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2003 年 3 月第一版 2003 年 3 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 13 印张 284 千字

印数 0001—2000 册 定价 45.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换)



前 言

风能是一种干净的、储量极为丰富的可再生能源，它和存在于自然界的矿物燃料能源，如煤、石油、天然气等不同，它不会随着其本身的转化和利用而减少，因此也可以说是一种取之不尽、用之不竭的能源；而煤、石油、天然气等矿物燃料能源，其储量将随着利用时间的增长而日趋减少。矿物燃料在利用过程中会带来严重的环境污染问题，如空气中的 CO_2 、 SO_2 、 NO_x 、 CO 等气体的排放量的增长导致了温室效应、酸雨等现象的产生。因此自 20 世纪 70 年代末以来，随着世界各国对环境保护、能源短缺及节能等问题的日益关注，认为大规模利用风力发电是减少空气污染、减少有害气体（ CO_2 等）排放量的有效措施之一。德国、丹麦、西班牙、英国、荷兰、瑞典、印度、加拿大等国在风力发电技术的研究与应用上投入了相当大的人力及资金，充分综合利用空气动力学、新材料、新型电机、电力电子技术、计算机、自动控制及通信技术等方面的最新成果，开发建立了评估风力资源的测量及计算机模拟系统，发展了变桨距控制及失速控制的风力机设计理论，采用了新型风力机叶片材料及叶片翼型，研制出了变极、变滑差、变速恒频及低速永磁等新型发电机，开发了由微机控制的单台及多台风力发电机组成的机群的自动控制技术，从而大大提高了风力发电的效率及可靠性。在此基础上，许多国家建立了众多的中型及大型风力发电场，并形成了一整套有关风力发电场的规划方法、运行管理与维护方式、投融资方式、国家扶持的优惠政策及规范、法规等。

中国三北地区（西北、华北北部、东北）及东南沿海地区有丰富的风能资源，而这些地区又都存在能源短缺及环境污染的问题，因此通过利用风力发电来改变能源结构并改善环境，不失为在能源开发领域中重要的策略之一。中国风力发电技术的研究始于 20 世纪 70 年代末 80 年代初，通过自主开发研制，小型风力发电机（额定容量为 $100\text{W} \sim 10\text{kW}$ ）已实现了商业化批量生产，并获得了广泛应用，对解决广大牧区牧民及一些岛屿上居民的生活及生产用电起着重要作用。与此同时，在国家有关部委的支持下，研制出额定功率为 200、250、300、600kW 的风力发电机组（已逐步实现国产化），并在全国 11 个省区建立了 27 个风电场，总装机容量到 2001 年底约 40 万 kW，取得了较快的发展。

为了使世界可持续发展计划对能源及环境保护的要求在我国得到更好的实施，也为了适应我国风力发电技术的不断更新及风电场建设的逐步扩大，国家电力公司电源建设部新能源发展处组织多年从事风力发电技术研究、开发及风电场规划、运行、管理方面的人员共同编写这本书，希望藉此能对从事风力发电及关注风力发电发展的人士有所帮助。

本书分为7章，内容包括风力发电的发展历史，风的形成、风的特性及风能资源，风力机的基本理论及结构，风力发电系统中发电机的基本原理及特性，风力发电系统中的蓄能装置，风力发电系统的构成及运行方式，户及村落用独立运行风力发电系统，并网风力发电场，风电场工程项目的实施等。

本书中的第一章由朱瑞兆编写，第二章由龙泽强编写，第三章、第四章由王承煦编写，第五章由毛荷馨编写，第六章中的第1、2、7节由易跃春编写，第3、5节由张世惠编写，第4节由娄慧英编写，第6节由王伟胜编写，第8、9节由施鹏飞编写，第七章由杨校生编写，绪论由施鹏飞编写，全书由王承煦统稿。

由于编著者的水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

作者

2002年6月



目 录

前言

绪论	1
第一章 风及风能资源	16
第一节 风的形成	16
第二节 风的测量	23
第三节 风能资源的计算及其分布	31
第二章 风力机的基本理论及结构	48
第一节 风力机的工作原理	48
第二节 风力机的空气动力学概念	50
第三节 风力机的主要部件	53
第四节 风力机的功率	56
第三章 发电机、蓄能装置	58
第一节 独立运行风力发电系统中的发电机	58
第二节 并网运行风力发电系统中的发电机	66
第三节 蓄能装置	79
第四章 风力发电系统的构成及运行分析	82
第一节 独立运行的风力发电系统	82
第二节 并网运行的风力发电系统	84
第三节 风力—柴油发电联合运行	96
第四节 风力—太阳光发电联合运行	100
第五章 户及村落风力发电系统的应用	106
第一节 用户用电量计算	106
第二节 风力发电机组及蓄电池组容量的选择与计算	111
第三节 风力发电机组安装地点选择	121

第六章 并网风力发电系统	123
第一节 风电场选址和风电机组的排列	123
第二节 风电场年上网电量估算	133
第三节 风力发电机组设备的选型	135
第四节 风电场升压变压器、配电线路及变电所设备	146
第五节 风电场的运行	148
第六节 风电场与电力系统	158
第七节 风电场的经济及环境效益评估	166
第八节 风电场对环境的影响	174
第九节 海上风电场	178
第七章 风电场工程项目的实施	183
第一节 风电场项目的立项	183
第二节 风电场项目的可行性研究报告	184
第三节 风电场项目公司	185
第四节 风电场项目的工程实施	187
第五节 风电场项目的经营管理	189
附录一 中国风电场装机情况一览表	191
附录二 国外主要风力发电机组制造厂商的产品型号及技术规格	193
附录三 中国风力发电机械标准目录	195
附录四 中国已发布的风力发电场标准	196
名词术语	197
参考文献	200

绪 论

一、风能利用的历史

人类利用风能已有数千年历史，在蒸汽机发明以前风能曾经作为重要的动力，用于船舶航行、提水饮用和灌溉、排水造田、磨面和锯木等。埃及被认为可能是最先利用风能的国家，约在几千年前，他们就开始用风帆来帮助行船（如图 0-1 所示），波斯和中国也很早开始利用风能，主要是使用垂直轴风车（如图 0-2 所示）。

中国是最早使用帆船和风车的国家之一，在距今 1800 年以前，东汉刘熙所著的《释名》一书上，对帆字作了“随风张幔曰帆”的解释。明代以后风车利用较普遍，宋应星的《天工开物》一书中记载有：“扬郡以风帆数扇，俟风转车，风息则止”，这是对水平风车的一个较完善的描述。方以智著的《物理小识》记载有：“用风帆六幅，车水灌田，淮扬海皆为之”。童冀在他的《水车行》中有：“零陵水车风作轮，缘江夜响盘空云，轮盘团团经三丈，水声却在风轮上，……”，描述了利用风帆驱动水车灌田的情景。

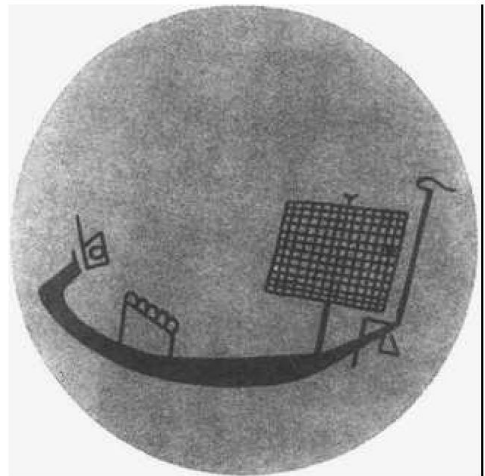


图 0-1 5000 年前埃及古画上的帆船

欧洲到中世纪才广泛利用风能，荷兰人发展了水平轴的风车，18 世纪荷兰曾利用近万座风车将海堤内的水排干，造出的良田相当于国土面积的三分之一，成了著名的风车之国。这种风车在欧洲大陆和英国的乡村是很普遍的，成为机械能的主要来源（如图 0-3 所示）。

19 世纪中叶以后，美国大规模开发西部，为了解决人畜饮水问题，制造了金属叶片的风轮，驱动活塞泵用于提水，成为有名的美国农场风车（如图 0-4 所示），拥有量曾达到 600 万台。

中国创造的立帆式垂直轴风轮，是将 8 个帆各编在一个直立的杆上，各帆的正中上端则各由一绳系之，当地称此为走马灯式风车（如图 0-5 所示）。

中国沿海沿江地区的风帆船和用风力提水灌溉或制盐的做法，一直延续到 20 世纪 50 年代，仅在江苏沿海利用风力提水的设备曾达 20 万台（如图 0-6 所示）。

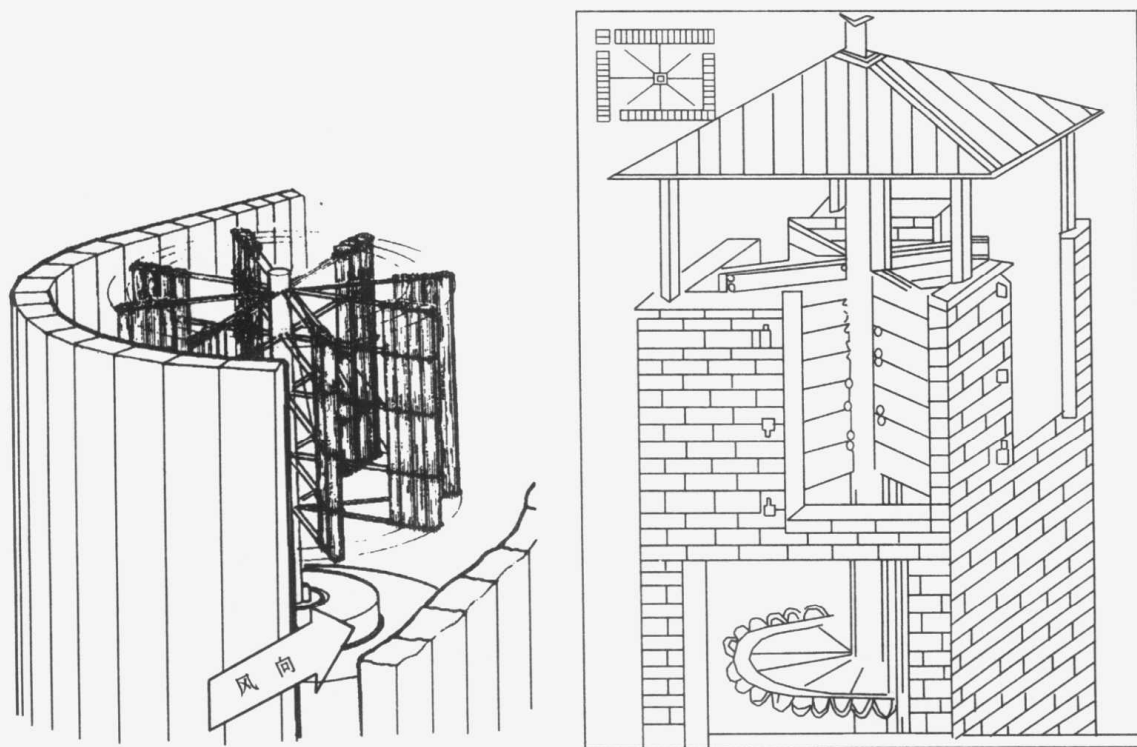


图 0-2 古代波斯和中国的垂直轴风车



2

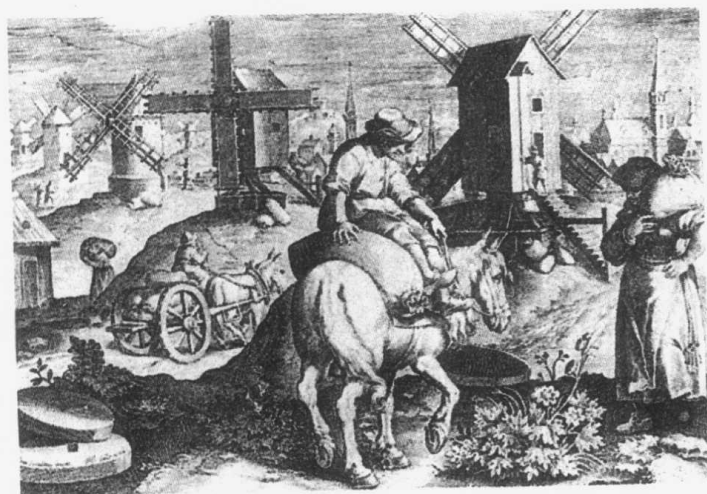


图 0-3 中世纪的欧洲风车磨坊

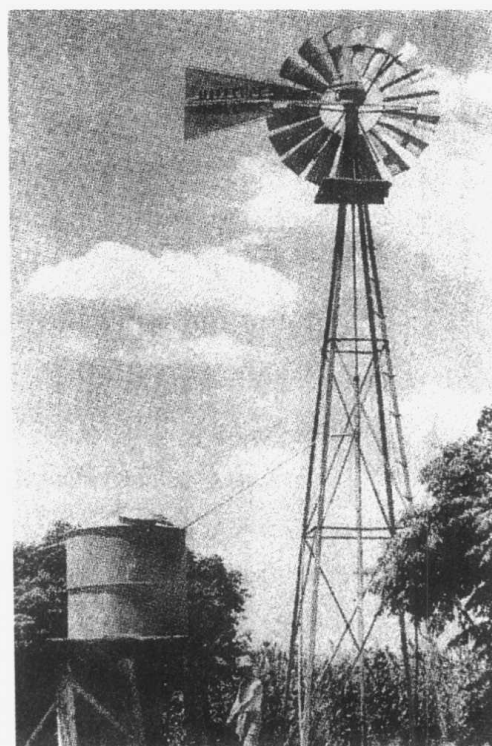


图 0-4 美国农场风车

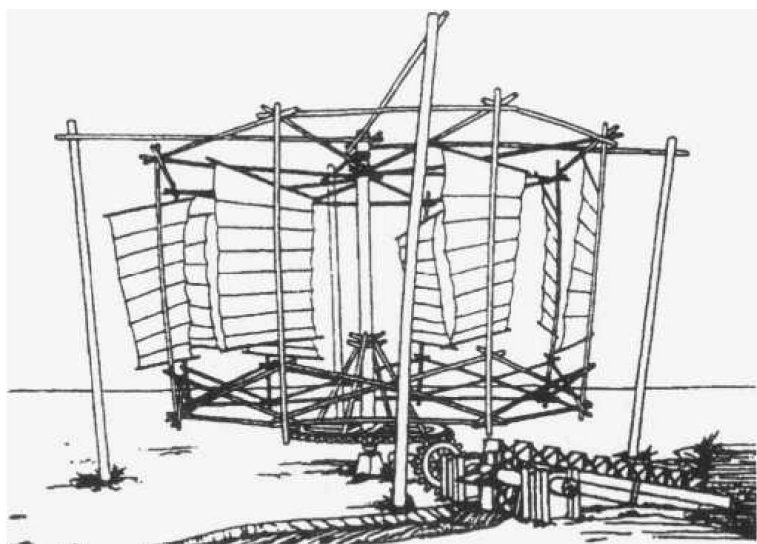


图 0-5 立帆式垂直轴风车

在蒸汽机出现之前，风力机械是动力机械的一大支柱，其后随着煤、石油、天然气的大规模开采和廉价电力的获得，各种曾经被广泛使用的风力机械，由于成本高，效率低，使用不方便等，无法与蒸汽机、内燃机和电动机等相竞争，渐渐被淘汰。例如荷兰现存几百座风车，被作为文物保护单位，成为旅游景观（如图 0-7 所示）。

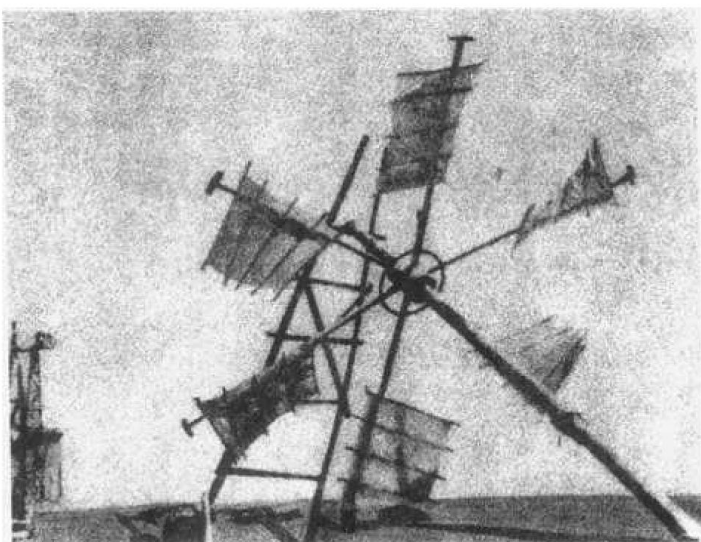


图 0-6 斜杆风车

到了 19 世纪末，开始利用风力发电，这在解决农村电气化方面显示了重要的作用，特别是 20 世纪 70 年代以后利用风力发电更进入一个蓬勃发展的阶段。

二、风力发电的发展

（一）风力发电的特点

风力发电是利用风能来发电，而风力发电机组（简称风电机组）是将风能转化为电能的机械。风轮是风电机组最主要的部件，由桨叶和轮毂组成。桨叶具有良好的空气动力学外形，在气流作用下能产生空气动力使风轮旋转，将风能转换成机械能，再通过齿轮箱增速驱动发电机，将机械能转变成电能。在理论上，最好的风轮只能将约 60% 的风能转换为机械能。现代风电机组风轮的效率可达到 40%。在风电机组输出达到额定功率之前，其功率与风速的立方成正比，即风速增加 1 倍，输出功率增加 8 倍，可见风力发电的效率与当地的风速关系极大。

由于风速随时在变化，因此处在野外运行的风电机组承受着十分复杂恶劣的交变载

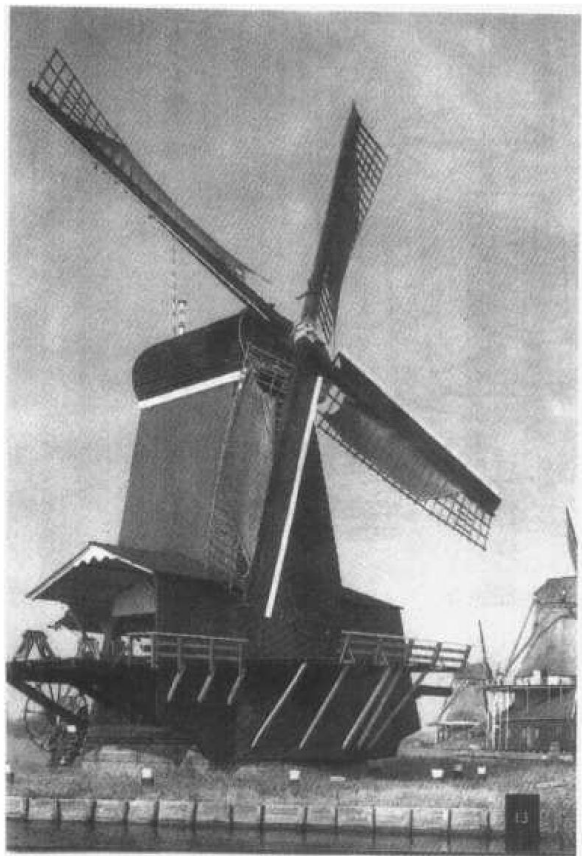


图 0-7 荷兰水平轴风车

荷。目前风电机组的设计寿命是 20 年，要求能经受住 60m/s 的 11 级暴风袭击，机组的可利用率要达到 95% 以上。

风力发电的运行方式主要有两类。一类是独立运行供电系统，即在电网未通达的偏远地区，用小型风电机组为蓄电池充电，再通过逆变器转换成交流电向终端电器供电，单机容量一般为 100W ~ 10kW；或者采用中型风电机组与柴油发电机或太阳能电池组成混合供电系统，系统的容量约为 10 ~ 200kW，可解决小的社区用电问题。另一类是作为常规电网的电源，与电网并联运行，联网风力发电是大规模利用风能的最经济方式。机组单机容量范围在 200 ~ 2500kW 之间，既可以单独并网，也可以由多台，甚至成百上千台组成风力发电场，简称风电场。

风电技术进步很快，风电机组高科技含量大，机组可靠性提高，单机容量

2500kW 以下的技术已经成熟。虽然目前风电机组成本还比较高，但随着生产批量的增大和进一步的技术改进，成本将继续下降。

风电的突出优点是环境效益好，不排放任何有害气体和废弃物。风电场虽然占了大片土地，但是风电机组基础使用的面积很小，不影响农田和牧场的正常生产。多风的地方往往是荒滩或山地，建设风电场的同时也开发了旅游资源。

由于风速是随时变化的，风电的不稳定性会给电网带来一定影响，目前许多电网内都建设有调峰用的抽水蓄能电站，使风电的这个缺点可以得到克服。

(二) 世界风力发电的发展

19 世纪末，丹麦首先开始探索风力发电，研制出风力发电机组（如图 0-8 所示）。直到 20 世纪 70 年代以前，只有小型充电用风力机达到实用阶段。美国在 20 世纪 30 年代还有许多电网未通达的地区，独立运行的小型风电机组在实现农村电气化方面起了很



图 0-8 1891 年丹麦研制的风电机组

大作用，当时的机组多采用木制叶片、固定轮毂和侧偏尾舵调速（如图 0-9 所示），单机容量的范围为 0.5~3kW。

对于如何将风力发出的电送入常规电网，曾经做过许多尝试来研制并网风力发电机组，美国制造的 1250kW 机组最大，风轮直径为 53m，安装在佛蒙特州，于 1941 年 10 月作为常规电站并入电网，后因一个叶片在 1945 年 3 月脱落而停止运行。另外，法国、前苏联和丹麦也研制过百 kW 级的机组，其中对后来风电机组技术发展产生过重要影响

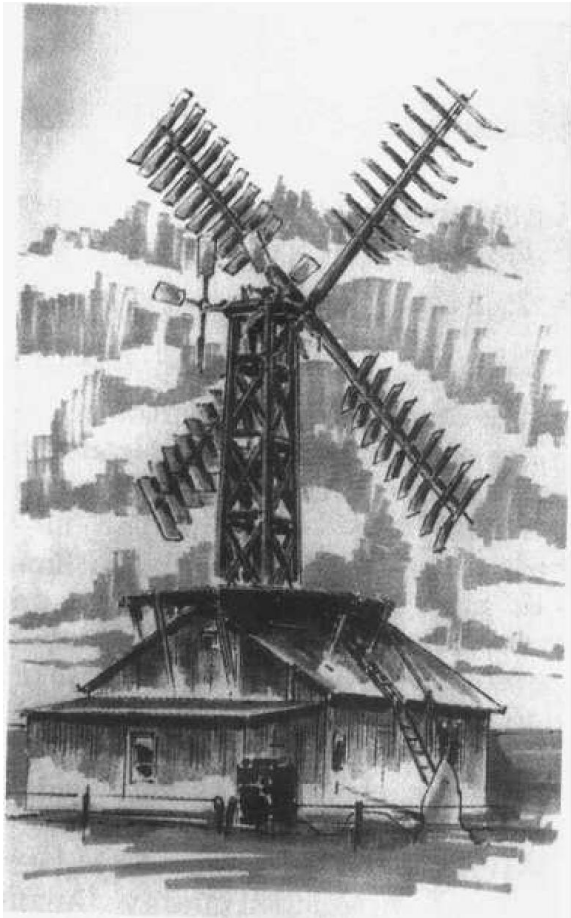


图 0-9 美国的小型风电机组

的是丹麦 Gedser 200kW 风电机组（如图 0-10 所示），从 1957 年运行到 1966 年，平均年发电量为 45 万 kW·h，设计者采用异步发电机、定桨距风轮和叶片端部有制动翼片，这种结构方式后来成为丹麦风电机组的主流，在市场上获得巨大成功。

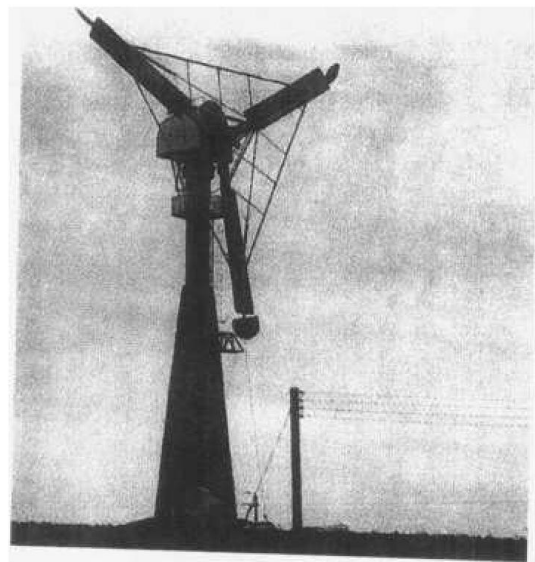


图 0-10 丹麦 Gedser 200kW 风电机组

1973 年发生石油危机以后，美国、西欧等发达国家为寻求替代化石燃料的能源，投入大量经费，动员高科技产业，利用计算机、空气动力学、结构力学和材料科学等领域的新技术研制现代风力发电机组，开创了风能利用的新时期。

20 世纪 70 年代到 80 年代中期，美国、英国和德国等国政府投入巨资开发单机容量 1000kW 以上的风电机组，承担课题的都是著名大企业，如美国波音公司研制了 2500kW 和 3200kW 的机组，风轮直径约为 100m，塔高为 80m（如图 0-11 所示），安装在夏威夷的瓦胡岛；英国的宇航公司和德国的 MAN 公司分别研制了 3000kW 的机组，所有这些巨型机组都未能正常运行，因其发生故障后维修非常困难，经费也难以维持，没有能够发展成商业机组，未能形成一个适应市场需求的风电机组制造产业。

丹麦风电技术的发展策略是政府不直接支持制造厂商，而是对购买风电机组的用户

给予补贴，开始时补贴机组费用的 30%，以后随着产业的发展，逐渐减少补贴的数额，直到取消。丹麦风能资源比较丰富，当地农民有利用风能的传统，目前仍保留了不少古代风车，世界石油危机发生以后，油价上涨，许多农民自己研制风力发电机组，额定功率约在 10~20kW 之间，安装在自己的住宅旁边，为家里的电器和照明供电，多余的风电可使家中的电表反转，减少电费负担。另外丹麦政府开始对煤电征收能源税和二氧化碳排放税，对风电的收购电价则给予补贴，使风电机组的用户从满足自家电力需求转变为向电网销售电能，获取一定的利润，购买风电机组成了一种投资方式，培育出了稳定的风电市场。

为了满足农民购买风电机组的需求，丹麦的中小企业，尤其是农机制造商，如 Vestas 和 Bonus 等，积极开发风电机组产品，政府为了促进风电技术的发展和保证产品的安全，在里索（Risø）国家实验室内建立了风电机组试验站（如图 0-12 所示），并授权对符合安全要求的风电机组型号颁发认证证书，规定只有获得认证的风电机组产品才有资格得到政府的补贴。当时丹麦的产品继承了 Gedser 200kW 风电机组的设计理念，在新样机测试过程中研究人员对失速调节功率理论进行深入探讨，还就测试时发现的问题提出了解决办法，并帮助厂商改进。丹麦风电机组制造商既得到科研机构的支持，又积累了丰富的现场运行经验，而且有机会从稳定的风电市场上连续接到订单，不断对产品进行完善，单机容量逐步从小到大，一个型号技术成熟了再逐步升级，经历过 30、



图 0-11 美国波音公司研制的
MOD-5B 型 3200kW 机组



图 0-12 丹麦里索风电机组试验站

50、100、400、600、750kW 直到 1000kW 以上的兆瓦级机组，在市场上建立了产品性能好、可靠性高的信誉。

此后，德国和西班牙等欧洲国家也相继出台了激励风电发展的政策，其核心是以长期固定的较高电价收购风电，使这些国家成为风电机组市场扩展最快的地区，丹麦的制造商也在有关国家建立了合资公司，生产丹麦品牌的机组，在 2000 年世界前十名风电机组制造商的市场份额中占到 90%（见表 0-1）。

表 0-1 2000 年世界前十名风电机组制造商

风电机组制造商	1999 年累积销售 (万 kW)	2000 年当年销售 (万 kW)	2000 年当年 市场份额	2000 年累积销售 (万 kW)	累积市场份额
VESTAS (丹麦)	253.0	80.5	17.9%	333.5	18.1%
GAMESA (西班牙)	85.3	62.3	13.9%	147.6	8.0%
ENERCON (德国)	155.3	61.7	13.7%	217.0	11.8%
NEG MICON (丹麦)	303.4	60.1	13.4%	363.6	19.7%
BONUS (丹麦)	119.7	51.6	11.5%	171.3	9.3%
NORDEX (德国/丹麦)	63.8	37.5	8.3%	101.3	5.5%
ENRON (美国)	115.3	27.0	6.0%	142.3	7.7%
ECOTECNIA (西班牙)	13.6	17.4	3.9%	30.9	1.7%
SUZLON (印度)	0	10.3	2.3%	10.3	0.6%
DEWIN (德国)	8.6	9.4	2.1%	17.9	1.0%
其 他	328.8	37.1	8.3%	365.9	19.8%
合 计	1446.9	454.8	101%	1901.7	103%

注 资料来源于丹麦 BTM 咨询公司。

风电机组技术的发展经历了从多种结构形式逐步向少数几种过渡的过程。20 世纪 80 年代初期，市场上有上风式和下风式，风轮主轴有水平的和垂直的；风轮叶片数有三个、两个、甚至一个的；叶片材料有木头的和玻璃钢的。到现在只剩下以水平轴、上风向、三叶片的机组为主，其中又有定桨距和变桨距风轮，定转速和变转速发电机，有齿轮箱和无齿轮箱等几种。

此外，值得注意的是风电机组的技术正沿着增大单机容量（如图 0-13 所示）、减轻每单位容量的自重、提高转换效率的方向发展。1997~2000 年兆瓦级机组的发展趋势见表 0-2。

表 0-2 1997~2000 年全世界兆瓦级机组的发展

	1997 年及以前	1998	1999	2000
当年装机容量 (万 kW)	15.3	41.7	107.6	177.9
当年装机台数	128	332	802	1293
占风电市场份额	10%	16%	27%	40%

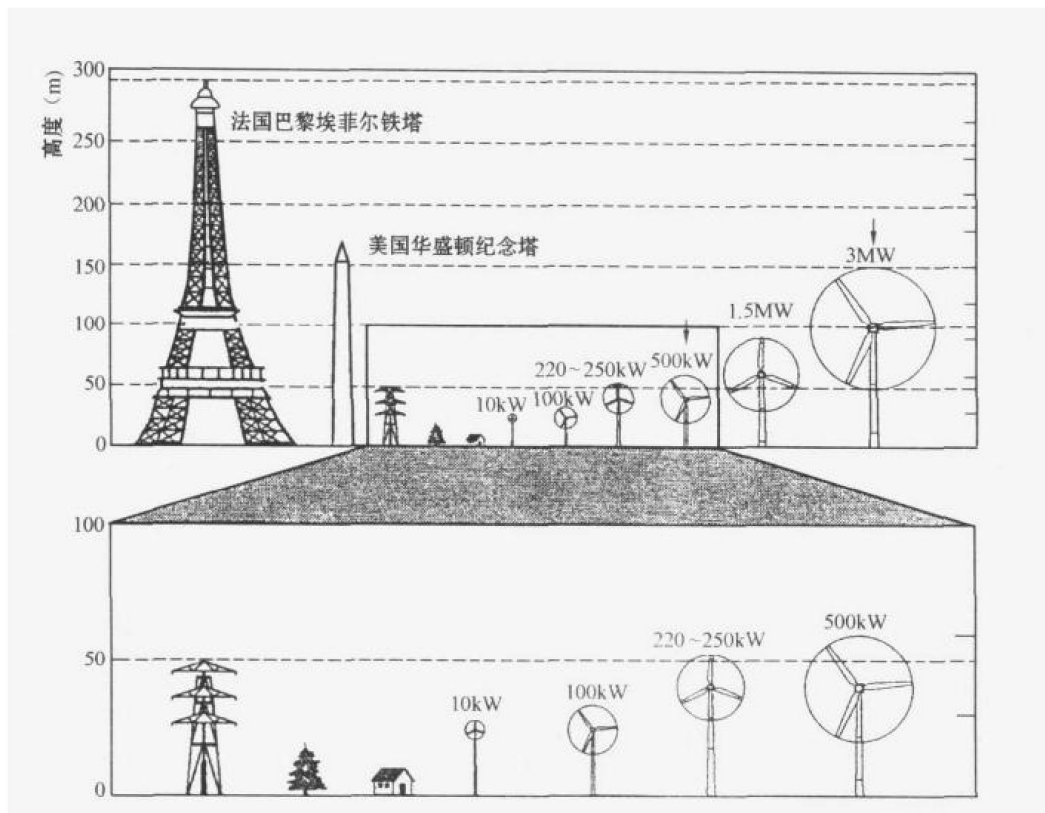


图 0-13 单机容量的增长

风力发电场是将多台并网型风力发电机安装在风力资源好的场地，按照地形和主风向排成阵列，组成机群向电网供电，简称风电场。风电场是大规模利用风能的有效方式，于 20 世纪 80 年代初在美国加利福尼亚州兴起，当时美国政府为鼓励开发可再生能源，出台了一系列优惠政策，其中联邦政府和加利福尼亚州政府对可再生能源的投资者分别减免 25% 的税赋，规定有效期至 1985 年底，另外立法规定电力公司必须收购风电，并且价格是长期稳定的。这些政策吸引了大量的资金采购风电机组，使刚刚建立起来的丹麦风电机组制造业获得了大批量生产和改进质量的机会。

从加州的旧金山到洛杉矶之间有三个类似山口的地区，东边是沙漠，西边是太平洋，悬殊的日温差形成了强烈的海陆风，经过山口时气流加速，主风向只有东风和西风，而且气温越高风越大，与空调的负荷需求匹配，是非常好的风电场场址（如图 0-14 所示），到 1986 年这三个风电场的总装机容量达到 160 万 kW。此后由于优惠政策中止，美国风电处于徘徊状态，连续多年几乎没有增长。美国对当地的风电机组产品没有认证制度，许多赶在免税政策停止之前抢购的机组，故障率较高，发电量少。直到 20 世纪 90 年代后期，美国改为按可再生能源发电量减税，风电场的发展才有所回升。

印度是一个缺电的发展中国家，政府制定了许多鼓励风电的政策，如投资风电的企业，可将风电的电量储蓄，当电网拉闸限电时，有储蓄的企业能够得到优先供电。印度风电增长很快，到 2000 年累积装机达到 122 万 kW。

欧洲将风电的发展作为实现减排二氧化碳等温室气体承诺的措施，开发风电的动力主要来自改善环境的压力，丹麦、德国和西班牙等都制定了比较高的风电收购电价，保持了稳定高速增长，1996 年以后年增长率超过 30%，使风电成为发展最快的清洁电



图 0-14 美国加州 Altmont 风电场

源（见表 0-3）。欧盟 1991 年原规划到 2000 年装机 400 万 kW，结果 1997 年就达到 479 万 kW，不得不制定新的规划，2000 年的指标为 800 万 kW，实际完成了 1363 万 kW，超额 70%。2010 年和 2020 年规划的目标分别是 4000 万 kW 和 1 亿 kW，按目前的发展态势，也可能提前实现。

表 0-3 世界风电装机的发展 (万 kW)

国 家	1996 年	1997 年	1998 年	1999 年	2000 年	2000 年风电比例
德 国	155.2	208.1	287.4	444.2	610.7	33.1%
西班牙	25.0	51.2	88.0	181.2	283.6	15.4%
美 国	161.4	161.1	214.1	244.5	261.0	14.1%
丹 麦	83.5	111.6	142.0	173.8	234.1	12.7%
印 度	82.0	94.0	99.2	103.5	122.0	6.6%
荷 兰	29.5	32.9	37.9	43.3	47.3	2.6%
英 国	27.3	32.8	33.8	36.2	42.5	2.3%
意大利	7.1	10.3	19.7	27.7	42.4	2.3%
中 国	5.8	16.7	22.4	26.8	34.4	1.9%
希 腊	2.9	2.9	5.5	15.8	27.4	1.5%
其 他	27.7	42.3	65.3	96.2	137.9	7.5%
全世界	607.4	763.9	1015.3	1393.2	1844.9	100%
年增长率	25.6%	25.8%	32.9%	37.2%	32.4%	

注 资源来源于丹麦 BTM 咨询公司。

据丹麦 BTM 咨询公司统计, 风电的容量系数全世界平均为 0.23, 即利用小时数为 2000h, 各个国家差别较大, 英国约为 2880h, 丹麦约为 2250h, 西班牙、荷兰和瑞典均为 2100h, 美国约为 2000h, 德国约为 1882h, 印度只有 1800h。2000 年全世界风电的发电量约 373 亿 kW·h, 占当年各种电源总电量 15.2 万亿 kW·h 的 0.25%, 预计 2010 年可能会达到 1.8%。由于技术的进步和产品批量的增加, 风电的成本持续下降, 每 kW·h 风电由 20 世纪 80 年代初的 20 美分下降到 1998 年的 5 美分 (见表 0-4)。

表 0-4 1983~1999 年世界风电装机容量增长和成本下降情况

年份	累积装机容量 (万 kW)	单机容量 (kW)	成本 (美分/kW·h)	年份	累积装机容量 (万 kW)	单机容量 (kW)	成本 (美分/kW·h)
1983	14.0	30	15.3	1995	483.5	500	5.4
1985	94.0	55	10.9	1996	607.4	600	5.3
1987	144.0	100	7.2	1997	763.9	600	5.1
1989	171.0	150	6.6	1998	1015.3	750	5.0
1991	216.0	200	6.1	1999	1393.0	750	4.9
1993	298.0	300	5.6				

在欧洲, 因为风能资源丰富的陆地面积有限, 过多安装巨大的风电机组会影响自然

景观, 而海岸线附近的海域风能资源丰富, 面积辽阔, 适合更大规模开发风电。20 世纪 90 年代中期, 丹麦在海上建立了两个示范风电场并获得成功(如图 0-15 所示), 表明技术上是可行的。2000 年开始建设商业化海上风电场的示范工程, 每个风电场的规模为 4 万 kW 到十几万千瓦, 预计发电成本接近陆上风电, 2005 年以后会大规模开发。随着海上风电场的建设, 需要单机容量更大的机组, 2.5MW 的机组已经投入运行, 正在研制 3~5MW 的巨型机组。

(三) 中国风力发电的发展

中国现代风力发电机技术的开发利用起源于 20 世纪 70 年代初。经过初期发展、单机分散研制、示范应用、重点攻关、实用推广、系列化和标准化几个阶段的发展, 无论在科学研究、设计制造, 还是试验、示范、应用推广等方面均有了长足的进步和很大的提高, 并取得了明显的经济效益和社会效益, 特别

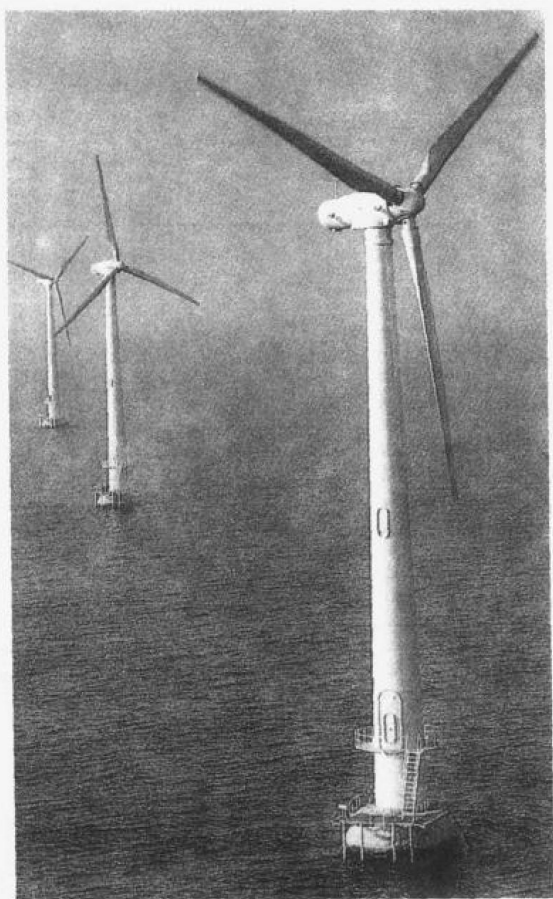


图 0-15 海上风电场